

PENGENDALIAN DAYA *HEATER* PADA FASILITAS EKSPERIMEN KANAL MENGGUNAKAN MEKANISME PWM BERBASIS LABVIEW

Sudarno¹, Nilna Fauzia², Alfu Alfin Nadhifatul Ummah²

¹Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN, Gedung 80 Kawasan
PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, 15310

²Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Keputih, Sukolilo, Surabaya, 60111

Email: sudarno@batan.go.id

ABSTRAK

PENGENDALIAN DAYA *HEATER* PADA FASILITAS EKSPERIMEN KANAL MENGGUNAKAN MEKANISME PWM BERBASIS LABVIEW. Fasilitas Eksperimen Kanal (ExNal) merupakan fasilitas penelitian fenomena pada bahan bakar reaktor. Dalam pengoperasiannya, ExNal perlu dilengkapi dengan *heater* sebagai simulator kalor yang dihasilkan reaksi fisi bahan bakar nuklir. Untuk itu, perlu adanya suatu kontrol untuk mengendalikan daya *heater* sesuai kebutuhan. Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui kemampuan kontrol PWM terhadap daya *heater* dan mengetahui pada frekuensi berapa tegangan output *heater* bekerja sesuai *duty cycle* yang diberikan. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak pengolah grafis LabVIEW. Analisis perhitungan dilakukan berdasarkan nilai *duty cycle* yang terbaca pada grafik waktu terhadap tegangan dan arus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dari delapan frekuensi yang diuji dari 0,1 Hz hingga 5 Hz, daya rata-rata *heater* berbanding lurus dengan *duty cycle* yang diberikan. Namun demikian daya *heater* optimal akan diperoleh pada frekuensi di atas 1 Hz.

Kata kunci : daya *heater*, *duty cycle*, eksperimen kanal, LabVIEW, PWM.

ABSTRACT

CONTROL OF POWER HEATER ON THE CHANNEL EXPERIMENT FACILITY USING PWM MECHANISM BASED ON LABVIEW. The Channel Experiment Facility (ExNal) is a research facility to study phenomena in the reactor fuel. During operation, ExNal needs to be equipped with a heater as a heat simulator produced by nuclear fuel fission reactions. Therefore, it is necessary to have a mean to control the power of the heater as required. The purpose of this research is to know the ability of PWM mechanism to the heater power and to find out at what frequency of heater output voltage will work according to the given duty cycle. This research uses the LabVIEW graphics processing software. The calculation analysis is based on the duty cycle value that is read on the time graph of electrical voltage and current. The test results show that from the eight frequencies tested from 0.1 Hz to 5 Hz, the average power of the heater is linearly proportional to the duty cycle input. Moreover, the optimal heater power will be obtained at frequencies above 1 Hz.

Keywords : Heater Power, Duty Cycle, Cannel Experiment, LabVIEW, PWM.

PENDAHULUAN

Reaktor TRIGA di Bandung telah memberikan kontribusi besar bagi perkembangan iptek nuklir di Indonesia. Hingga saat ini, reaktor tersebut masih beroperasi dengan baik. Namun demikian, persoalan yang muncul sejak beberapa tahun lalu adalah bahwa pabrik yang memproduksi bahan bakar untuk reaktor TRIGA sudah memutuskan untuk berhenti beroperasi [1]. Hal ini perlu diantisipasi oleh semua operator reaktor TRIGA di dunia, termasuk BATAN.

BATAN telah menyusun Rencana Strategis untuk menjamin kelangsungan operasi reaktor TRIGA Bandung, diantaranya adalah dengan melakukan konversi bahan bakar TRIGA menjadi bahan bakar jenis pelat [1].

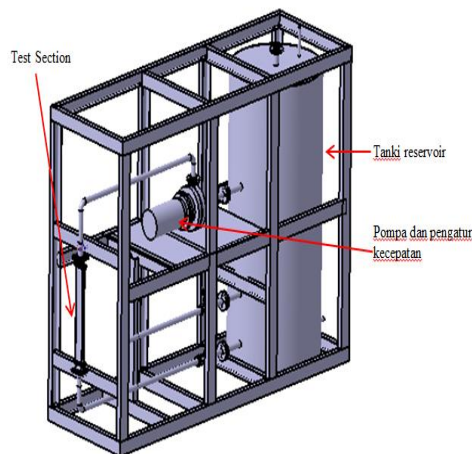
Dibandingkan bahan bakar jenis silinder, bahan bakar jenis pelat lebih sensitif terhadap vibrasi. Dalam teras reaktor, kecepatan aliran fluida pendingin elemen bahan bakar berperan penting dalam proses pemindahan panas. Kecepatan aliran pendingin berbanding lurus terhadap jumlah panas yang dipindahkan. Namun, di sisi lain kecepatan aliran pendingin juga berpengaruh terhadap vibrasi pelat bahan bakar. Vibrasi akan berdampak pada penurunan ketahanan mekanik elemen bahan bakar. Jika hal ini terjadi terus menerus, maka akan memberi dampak serius terhadap keselamatan reaktor nuklir [2].

Fasilitas Eksperimen Kanal merupakan suatu fasilitas eksperimen untuk penelitian kecepatan kritis pada aliran pendingin reaktor berbahan bakar tipe plat. Kecepatan aliran sangat dipengaruhi oleh pompa sirkulasi. Eksperimen kanal perlu dilakukan untuk dapat melihat perilaku aliran pendingin mengambil panas dari reaktor. Dalam penelitian ini dikembangkan sistem pengendalian daya *heater* yang bertujuan untuk mensimulasikan distribusi daya sesuai dengan posisi batang kendali. Dalam penelitian ini pengembangan dan pengujian pengendalian daya *heater* pada eksperimen kanal menggunakan metode kontrol *Pulse Width Modulation* (PWM) berbasis perangkat lunak LabVIEW.

TEORI

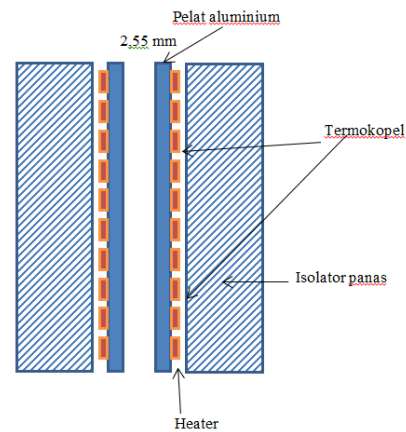
Fasilitas Eksperimen Kanal

Eksperimen Kanal merupakan fasilitas untuk penelitian fenomena yang terjadi pada bahan bakar reaktor. Salah fenomena yang diteliti yaitu kecepatan aliran pendingin reaktor. Kecepatan aliran pendingin sangat ditentukan oleh pompa sirkulasi. Beberapa reaktor riset di dunia menggunakan desain reaktor riset fluks tinggi yang mana memiliki kecepatan hingga 17 m/s. Sedangkan reaktor riset yang dimiliki Indonesia G.A.Siwabessy hanya memiliki kecepatan aliran pendingin 3,7 m/s. Gambar 1 menunjukkan skema eksperimen Kanal [4].



Gambar 1. Fasilitas Eksperimen Kanal (ExNal) Reaktor (courtesy : Deddy Haryanto).

Desain batang uji pada eksperimen kanal terdiri dari dua pelat dengan jarak 2,55 mm. Pada setiap pelat terdapat *heater* 10 buah dengan daya yang dapat dikendalikan secara terpisah. Konfigurasi ini bertujuan untuk mensimulasikan distribusi fluks neutron sesuai posisi batang kendali. Jadi, pengendalian daya ini digunakan untuk mensimulasikan gerakan batang kendali yang akan mempengaruhi distribusi daya pada elemen bakar. Aliran fluida pendingin melewati ruang antar pelat. Terdapat penyekat panas di sekeliling *heater* untuk menjaga agar panas tidak teradiasi ke lingkungan. Pemodelan batang uji dapat dilihat pada Gambar 2 [5].



Gambar 2. Pemodelan batang uji Eksnal dengan heater

LabVIEW

LabVIEW adalah sebuah perangkat lunak untuk aplikasi instrumentasi dan akuisisi data. Program LabVIEW juga sering disebut sebagai instrumentasi virtual, karena kemampuan aplikasinya dapat menyerupai alat instrumentasi yang sebenarnya, seperti osiloskop misalnya. LabVIEW pada dasarnya menggunakan konsep bahasa pemrograman grafis yaitu dengan model blok proses dan aliran data. Terdapat 2 jendela kerja pada LabVIEW yaitu *front panel* dan *block diagram*. *Front panel* merupakan tampilan input dan output program untuk interaksi dengan pengguna, sedangkan *block diagram* berisi logika programnya [8,9]

Modul NI 6215

Modul *National Instrument* (NI) 6215 merupakan *multifunctional I/O device* yang berfungsi untuk akuisisi data sinyal dari sensor dan meneruskan ke komputer menggunakan program LabVIEW. Modul NI 6215 juga berfungsi sebagai modul

kendali yang menghasilkan sinyal kendali untuk mengatur daya *heater* menggunakan SSR (*solid state relay*) [10]. Modul ini memiliki 32 kanal, terdiri dari analog I/O dan digital I/O.

Pulse Width Modulation (PWM)

Pulse Width Modulation (PWM) merupakan salah satu jenis modulasi untuk mengatur amplitudo sinyal dengan merubah lebar pulsa positif (*on*) dan lebar pulsa negatif (*off*) pada frekuensi tetap. Perbandingan lebar pulsa positif terhadap periode sinyal disebut *duty cycle*. Untuk membentuk sinyal PWM, dapat menggunakan modulasi dua sinyal, yaitu sinyal yang dimodulasi dan sinyal *carrier* yang berfungsi sebagai pengatur *duty cycle*. [11]. Hubungan antara tegangan dan daya listrik yang dihasilkan oleh PWM ditampilkan dalam persamaan (1) dan (2).

$$V_{PWM} = D \cdot V_{RMS} \quad (1)$$

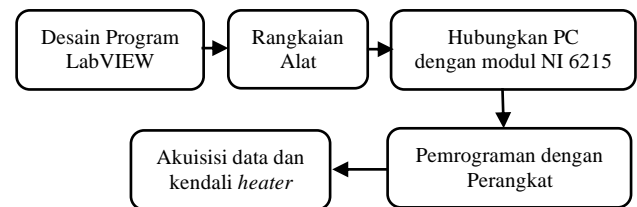
$$P_{PWM} = D \cdot P_{MAX} \quad (2)$$

dimana :

- V_{PWM} = tegangan keluaran PWM,
- D = *duty cycle*,
- V_{RMS} = tegangan tanpa PWM,
- P_{PWM} = daya listrik dengan PWM
- P_{max} = daya listrik maksimal tanpa PWM.

METODOLOGI

Tata kerja pembuatan sistem akuisisi data dan pengendalian daya *heater* mengikuti tahapan-tahapan kegiatan seperti pada Gambar 3.

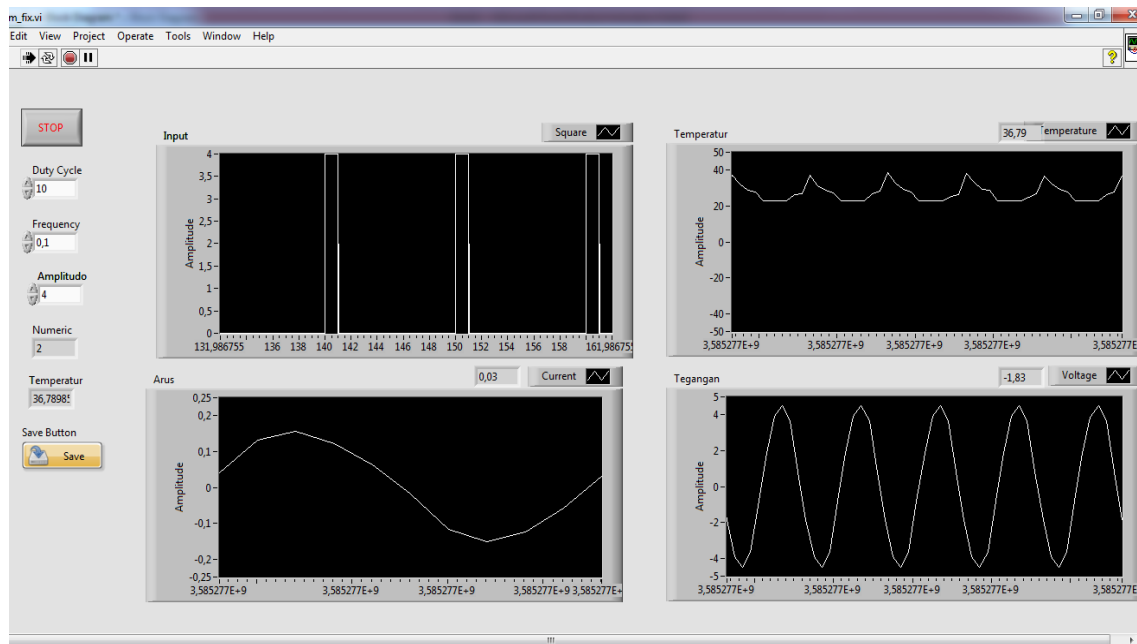


Gambar 3. Skema kerja pembuatan sistem akuisisi data dan kendali daya heater.

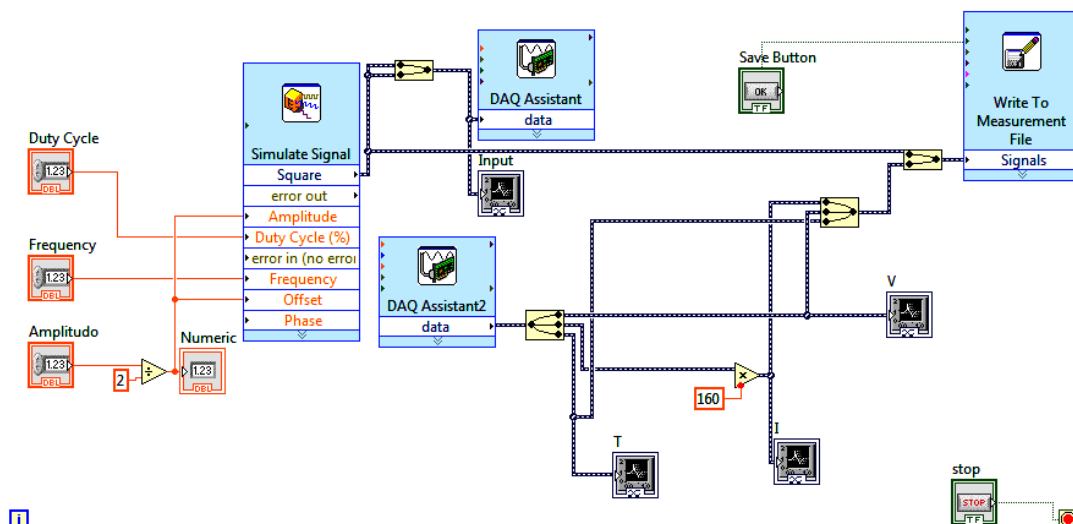
Adapun Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut

- 1 unit modul NI-USB 6215
- 1 unit *heater* 300 Watt
- 1 unit *Solid State Relay*
- 1 unit resistor 20 Ohm
- 1 unit trafo step down 3 Volt
- 1 unit klem arus, dan
- 1 unit termokopel tipe K

Rangkaian elektronika dihubungkan dengan *pinout* pada NI-USB 6215. Setelah terhubung, dilakukan pemrograman antara *software* LabVIEW dengan *hardware* NI-USB 6215. Tampilan program pada jendela *front panel* dan *block diagram* LabVIEW dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5. Akuisi data diatur agar dapat membaca tegangan, arus keluaran *heater* dan temperatur pada termokopel setiap 1 mili detik. Pada *front panel* ditampilkan nilai digital dan grafik dari setiap tegangan, arus, dan temperatur yang terbaca. Penyimpanan data dilakukan dengan menekan tombol *save* pada *front*



Gambar 4. Tampilan *front panel* saat akuisisi data kontrol daya *heater*.



Gambar 5. Diagram blok sistem akuisisi data pada pengaturan daya *heater*.

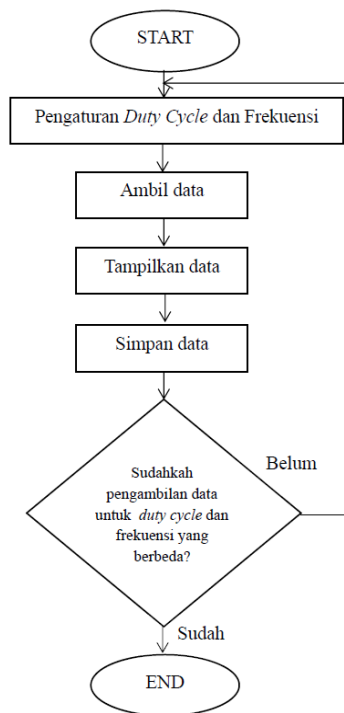
panel. Data disimpan dengan format *.lvm* sehingga data dapat dengan mudah dianalisa dengan *software* Microsoft Excel.

Proses pengendalian daya *heater* diawali dengan menentukan frekuensi dan *duty cycle*. Diagram alir program akuisisi data dan pengaturan daya *heater* ditunjukkan pada Gambar 6.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian daya dilakukan dengan mengatur nilai *duty cycle* dari sinyal yang masuk pada *heater*. Pengaturan ini dilakukan dengan perangkat lunak LabVIEW dan dilengkapi perangkat keras National Instrument (NI) jenis *multifunctional I/O NI-USB 6215*. Adapun *pinout* yang digunakan untuk *analog output* adalah pin 12 sebagai

Analog Output 0 (AO0), pin 13 sebagai *Analog Output 1* (AO1) dan pin 14 sebagai *Analog Ground*. Pin ini digunakan untuk mengirim sinyal PWM dari PC menuju SSR (*solid state relay*). Adapun *analog input* yang digunakan adalah pin 17, 19, 21 dan 23. Pin 17 adalah pin *Analog Input 1* (AI1) sebagai penerima tegangan yang terukur pada *heater*. Pin 19 adalah pin *Analog Input 2* (AI2) sebagai penerima arus yang terukur pada *heater*. Pin 21 dan 23 sebagai pin AI3 dan AI sense untuk menerima akuisisi data suhu dari pengukuran termokopel.

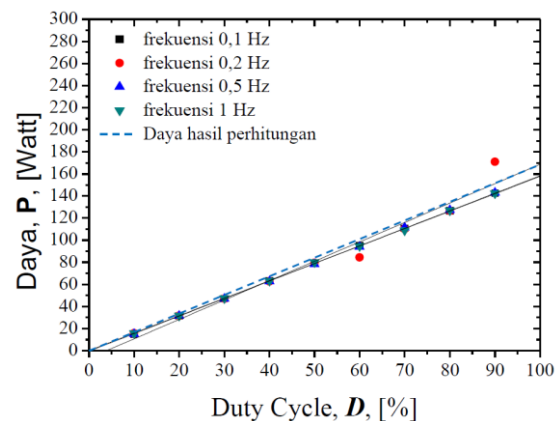


Gambar 6. Diagram alir program akuisisi data dan pengaturan daya *heater*.

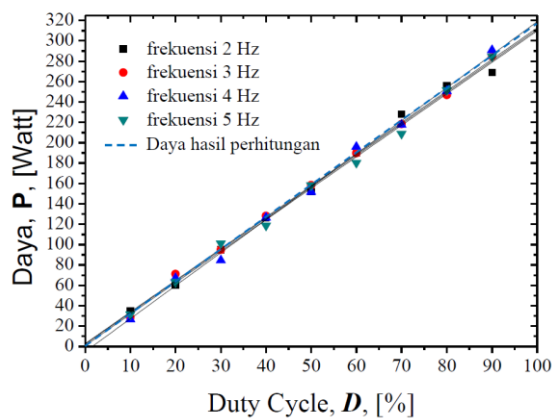
Proses akuisisi data dimulai dengan pengaturan *duty cycle* dan frekuensi pada program, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4 yang menunjukkan grafik input *duty cycle*, tegangan dan arus yang pada

heater serta suhu yang terukur pada termokopel. Komputer akan mengirimkan sinyal digital menuju NI-USB 6215 yang selanjutnya akan diteruskan menuju SSR. Kemudian relai akan bekerja sesuai dengan kontak *switch* SSR untuk mengatur besarnya energi listrik rata-rata yang disuplai ke *heater*.

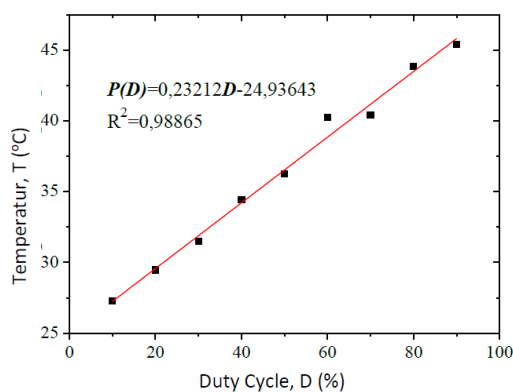
Untuk mengetahui daya listrik yang disuplai ke *heater*, maka dilakukan pengukuran arus dan tegangan *heater*. Pengukuran tegangan pada *heater* dilakukan dengan trafo *stepdown*, sehingga pengukuran tegangan dapat direkam dengan NI-USB 6215 pada interval -10 Volt sd. 10 Volt. Sedangkan pengukuran arus dilakukan dengan metode induktif menggunakan klem arus.



Gambar 7.(a) Pengaruh *duty cycle* terhadap daya *heater* pada frekuensi 0,1 sd. 1 Hz.



Gambar 7.(b) Pengaruh *duty cycle* terhadap daya heater pada frekuensi 2 sd. 5 Hz



Gambar 8. Pengaruh *duty cycle* terhadap temperatur air.

Grafik pengaruh *duty cycle* terhadap daya rata-rata dengan parameter frekuensi sinyal PWM yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 7. Pada frekuensi ≤ 1 Hz, nilai pengukuran daya *heater* lebih kecil dari nilai perhitungan dengan nilai selisih daya maksimal 5,9%. Pada frekuensi > 1 Hz, nilai pengukuran daya *heater* lebih sesuai dengan perhitungan, dengan nilai selisih daya maksimal 1,6%.

Media dalam percobaan ini adalah air. *Heater* diletakkan di dalam air sehingga temperatur air akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai daya rata-rata oleh *heater*. Dari eksperimen diperoleh pula bahwa temperatur air juga berbanding lurus

dengan *duty cycle* seperti yang terlihat pada Gambar 8.

Hasil yang diperoleh dari eksperimen adalah sesuai dengan persamaan (2) dimana daya *heater* rata-rata berbanding lurus dengan *duty cycle*. Dengan demikian metode PWM cocok untuk dijadikan metode pendalian daya *heater*. Berdasarkan variasi frekuensi sinyal PWM yang telah dilakukan diketahui bahwa untuk frekuensi PWM terlalu rendah ($f < 1$ Hz) menghasilkan penurunan daya hingga 5,9% dari nilai perhitungan. Dengan demikian untuk pengendalian *heater* disarankan menggunakan frekuensi sinyal PWM diatas 1 Hz untuk mendapatkan penurunan daya *heater* kurang dari 1,6% terhadap nilai perhitungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen dan pengolahan data diketahui bahwa nilai daya *heater* berbanding lurus terhadap *duty cycle* sinyal PWM, sehingga metode PWM cocok dijadikan metode pengendalian daya *heater*. Pada frekuensi PWM ≤ 1 Hz, daya *heater* yang terukur mengalami penurunan daya hingga 5,9%. Nilai daya *heater* yang optimal diperoleh pada frekuensi PWM > 1 Hz, untuk mendapatkan penurunan daya *heater* kurang dari 1,6% dari perhitungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pimpinan manajemen PTKRN-BATAN yang memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. SUWARNO, Development of TRIGA Fuel Fabrication by Powder Technique. Atom Indonesia Vol. 40 No. 3 (2014) 113.
- [2] PTNBR-BATAN. Strategic Plan: Bandung TRIGA Research Reactor, 2013.
- [3] KISWANTA, Perancangan Modifikasi Pompa Pendingin pada Fasilitas Eksperimen Kanal. Sigma Epsilon, 2014, Vol 18:2.
- [4] MUHAMMAD SUBEKTI, ENDIAH PUJI HASTUTI, DEDI HERIYANTO, Desain Alat Eksperimen Kanal (ExNal) untuk Mengukur Kecepatan Pendingin Reaktor Riset Inovatif” Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, 2014, Hal. 36-41.
- [5] ANTÔNIO CARLOS LOPES DA COSTA ET AL, AN Electrical Simulator of A Nuclear Fuel Rod Cooled by Nucleate Boiling, ECI International Conference on Boiling Heat Transfer Florianópolis-SC-Brazil, 3-7 May 2009.
- [6] KAMINAGA M., Thermal hydraulics Design of JRR-3M, *The 38th, 39th and 40th Instructur Training Program – Course of Reactor Engineering I, II & III*, JAEA, Tokai, 2010.
- [7] DAXIN GONG, ET AL., Heat Transfer Calculation on Plate-Type Fuel Assembly of High Flux Research Reacto., Science and Technology of Nuclear Installations, Hindawi Publishing Corporation, Volume 2015.
- [8] KUSSIGIT SANTOSA, Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Katup Pada Untai Uji Beta Menggunakan Perangkat Lunak LabVIEW, Sigma Epsilon, ISSN 0853-9103, Vol 18, No 3-4 Agustus–September 2014.
- [9] AGUS NUR RACHMAN, Pengembangan Sistem Instrumentasi Thermobath dan Akuisisi Data Termokopel Tipe K, Sigma Epsilon, ISSN 0853-9103, Vol 20, No. 1 Februari 2016.
- [10] NATIONAL INSTRUMENTS, Operating Instructions and Specifications NI 9215. 2017.
- [11] JIAN SUN, Dynamics and Control of Switched Electronic Systems Advanced Perspectives for Modeling, Simulation and Control of Power Converters. London: Springer-Verlag, 2012.